

2011 年度卒業論文
山田正雄ゼミナール

IP アドレスの枯渇
～IPv6 の導入とその課題～

日本大学法学部経営法学科 4 年

学籍番号：0840113

神崎 達也

はじめに

今日、もはやその名を知らないものはいない程にインターネットは普及した。総務省の情報通信白書によると、平成 21 年には、インターネット利用者数は前年に比べて 317 万人増加して約 9400 万人に上る。同白書のインターネット利用目的を見ると、2 番目に「商品・サービスの購入」が多く、もはや我々の日々の行動に密接にかかわるものとなった。また、パソコンだけでなく、iPad などのタブレット端末やスマートフォンなどの登場により、一人で複数の端末を持つようになった。更には情報家電など、かつてはインターネットにつながる事を想定されなかったものまでつながるようになり、結果としてインターネットに接続される端末数が増加しているのが現状である。

我々が普段意識する事なく接続しているインターネットは、OSI 参照モデルによれば 7 階層に分けられて、様々なプロトコルにより構成されている。その 1 つに、ネットワーク層における決まり事を決定している Internet Protocol (インターネットプロトコル、以下 IP と称す) がある。全てのデータを「IP パケット」という決まった形でやりとりする事、IP のネットワークに接続した全ての端末には、「IP アドレス」と呼ばれる識別番号が付けられる事、などが規定されている。この事により、データ通信が可能となっている。IP には、現在主流となっている IPv4 と、次世代版の IPv6 がある。

IP アドレスは、端末を特定するために用いられるものであり、ユニークなものでなければならない。IP アドレスはインターネットユーザーが公平に共有する資源として、「アドレスポリシー」と呼ばれる管理方針に基づき世界的に管理が行われている。

しかし、この IP アドレスは大きな局面を迎えている。IP アドレスを世界的に管理している「IANA」では、IPv4 グローバルアドレスが 2011 年 2 月 3 日に枯渇した。更に太平洋地域を受け持つ「APNIC」、日本の管理団体である「JPNIC」が管理する IPv4 グローバルアドレスは同年 4 月 15 日に枯渇した。IPv4 の仕様が正式に決まった 1981 年当時、開発陣はこれで十分なアドレス数を確保できると考えたのだが、その予想を上回るペースでインターネットが急成長し、IPv4 アドレスの消費量も予想以上に増えたためだ。また、インターネットが米国の ARPANET を起源としているが故に、多くの IP アドレスが米国に独占されているという点も大きな要因である。

我々ユーザーにとって直ちに影響が出る事態ではないが、ISP (インターネットサービスプロバイダー) 等にとっては、新たな顧客に接続サービスを提供できなくなるわけであり、死活問題となりうる。

そこで対応策の 1 つとして、IPv6 への移行が挙げられる。ほぼ無限のアドレス空間を持ち、構築の容易さ、セキュリティの点についても評価されている。しかし、その導入には課題が残されており、2011 年 7 月 24 日の完全地デジ移行のようにテレビを買い換えればいい、というような容易なものではない。IPv4 と IPv6 は似て異なるものであり、我々エンドユーザーだけでなく、世界中のネットワークの決まりごとを根本的に覆す事になるからである。

本論では、インターネットの構成要素である IP について検討し、IP グローバルアドレスが不足している事態を指摘する。その背景やそれに対する対応策をいくつか挙げ、その 1 つとして IPv6 について述べる。IPv4 とは何が違うのか、導入するメリット、課題などを挙げて、今後の展望に結びたいと思う。

-目次-

はじめに

1. IP(Internet Protocol)	5
1-1. IP とは	5
1-1-1. IPv4	5
1-1-2. IPv6	6
1-2. IP アドレス	6
1-2-1. IPv4 の IP アドレス	7
1-2-1-1. クラスの概念	7
1-2-1-2. CIDR (Class-less Inter Domain Routing)	8
1-2-2. IPv6 の IP アドレス	8
1-2-2-1. ユニキャスト・アドレス	8
1-2-2-2. エニキャスト・アドレス	9
1-2-2-3. マルチキャスト・アドレス	9
1-2-3. モバイル IP	9
2. IP アドレスの枯渇	11
2-1. 現状	11
2-2. 背景	12
2-2-1. インターネットの爆発的な普及と利用端末数の増加	12
2-2-2. 南北問題と米国の一国独占体制	15
2-2-3. アドレスブロックの死蔵	17
2-3. 対応策	17
2-3-1. NAT(Network Address Translation)	17
2-3-2. 未使用アドレスの回収	18
3. IPv6 の導入	20
3-1. 業種別の対策	20
3-2. 南北問題は解決されるのか	21
3-3. IPv4 との共存技術	22
3-3-1. デュアル・スタック	22
3-3-2. トンネリング	22
3-3-3. トランスレータ	23

4. ISP の動き	24
4-1. IPv6 インターネット接続サービス	24
4-1-1. 企業向け	24
4-1-2. 個人向け	24
4-1-3. NTT ドコモ「Xi」の IPv6 インターネット接続サービス	24
4-2. World IPv6 Day	25
5. JPNIC の動き	27
5-1. IPv6 アドレスの割り当ての開始	27
5-2. アドレス移転制度	27
5-3. 5-2. 未使用アドレスの回収	28
6. 政府の動き	30
6-1. e-Japan 戦略	30
6-2. 実証実験	30
6-3. IPv6 優遇税制（次世代ブロードバンド基盤整備促進税制）	31
6-4. 電子政府システムの IPv6 対応に向けたガイドライン	31
7. 導入への課題	32
7-1. IPv4 との共存に係る問題	32
7-2. マルチプレフィックス問題	32
7-3. セキュリティ面やプライバシーに関わる問題	33
8. ユビキタス社会における IPv6 ～トレインネットワーク～	35
おわりに	36
参考文献	36
参考 URL	37

1. IP(Internet Protocol)

1-1. IP とは

Internet Protocol (インターネット・プロトコル、IP) とはインターネットにおいて情報の伝達を行うプロトコルであり、インターネットの基礎部分となる重要な役割を持つ。¹

インターネットは、様々なプロトコルによって構成されているが、国際標準化機構(ISO)によって策定された、コンピュータの持つべき通信機能を階層構造に分割したモデルである OSI 参照モデルの「ネットワーク層」に位置する。このネットワーク層は、転送元から転送先に至るあらゆる場所、つまりあらゆる場所からあらゆる場所への情報転送を扱う。

IP はアプリケーションなどで作成されたデータを「パケット」と呼ばれる情報の転送単位に分割する。インターネットは様々な回線で構成されており、近年は光ファイバーや ADSL、無線 LAN など多様な回線があってその仕組みも違う。仕組みも違えば、一度に運べるデータの塊の大きさ(フレーム・サイズ)も違う。よって、これの大きさを超えないようなサイズのパケットを作成する必要がある。

そして、送信先の端末に届くように最適な経路を計算(ルーティング)して送信する。パケットは、ヘッダー部とデータ部から成り、送信元パソコンの IP は、アプリケーションなどが指定したあて先 IP アドレスや自分のアドレス(送信元 IP アドレス)をヘッダーに書き込む。そして、あて先 IP アドレスが自分とつながっている LAN にあるか、それともエリア外なのかを判断する。具体的には、ユーザーがパソコンに設定した IP アドレスとサブネット・マスクを使う。

また、設定のミスなどで届かないはずの相手先に送信するようなパケットが発生してしまった場合、1 個ならまだいいが、これが多数に及ぶと、ネットワークが無駄なパケットでいっぱいになってしまう。そのため、有効期限という概念がある。ルーターの IP は有効期限の切れたパケットを受信したら、ほかに転送せずに捨てる。これでルーターに設定ミスなどがあっても、永遠にさまよい続けるパケットはなくなる。²

1-1-1. IPv4 とは

誕生から既に 30 年以上たった今でも使用されており、世界的に広く普及している第 4 世代の IP である。

1979 年に、南カリフォルニア大学情報科学研究所のジョン・ポステル(John Postel)氏がリーダーとなって TCP バージョン 4(TCPv4)を発表した。この時ポステル氏は、この TCP バージョン 4 を「上位層(レイヤ 4)の TCP とその下位層(レイヤ 3)となる IP」の 2 つのプロトコルに分離した。これが「IPv4」命名の起源となっている。³

アドレス長は 32 ビットである。しかし、0 と 1 が並んだままでは人間にとって扱いにくいので、通常は 32 ビットを 4 分割し、それぞれを 10 進数に変える記法が採られている。例をあげると、「111000000 10101000 00000011 000000101」という 2 進数による表現は分

民間の非営利法人である。RIR は世界を 5 つに分けて各地域を担当しているレジストリである。ARIN はメキシコを除く北米と一部、カリブ海・大西洋エリア、南極大陸周辺エリアを、RIPE NCC はヨーロッパ、中東、中央アジアを管轄する。APNIC は東部・南部アジア・太平洋エリアを管轄し、ラテンアメリカ・カリブ海沿岸地域を管轄する。AfriNIC はアフリカ地域を管轄する。

IP アドレスは、「ネットワーク部」と「ホスト部」から構成されている。ネットワーク部とはどのネットワークに所属しているのかを特定する為の情報であり、ホスト部はそのネットワークに所属する端末を特定するための情報である。また、そのネットワーク全体を表す。

IPv4 の場合、IP アドレスと一緒にサブネット・マスクという値を用いて、IP アドレスの左から何ビットまでがネットワーク部分なのかを表す事が行われる。例えば、「IP アドレスが 192.168.1.20、サブネット・マスクが 255.255.255.0」という設定を考えた時、サブネット・マスクを 2 進数に表すと「11111111 11111111 11111111 00000000」となり、左から「1」が 24 ビット続いている。この部分に対応する IP アドレスの値 (192.168.1) がネットワーク部となり、「0」が 8 ビット続いている部分に対応する値 (20) がホスト部となる。TCP/IP では、IP アドレスとサブネット・マスクの両方の値を設定しなければ通信を行う事ができない。

1-2-1. IPv4 の IP アドレス

アドレス長が 32 ビットなので、使用できるアドレスの数は 2^{32} 個、つまり約 43 億個である。

IPv4 では「グローバルアドレス」と「プライベートアドレス」の 2 種類がある。グローバルアドレスとは、NIC(ネットワークインフォメーションセンター)から正式に割り当てられる、世界で唯一の IP アドレスである。プライベートアドレスとは、家庭や企業内など、インターネットに直接接続しない閉じたネットワークで使用する IP アドレスである。近年、このグローバルアドレスが枯渇しつつある。その根本的解決手段として、IPv6 への移行が考えられている。

1-2-1-1. クラスの概念

IPv4 は歴史的にクラス A からクラス E までの 5 つのアドレスの種類 (これをクラスと呼ぶ) が定義されていた。クラス A、B、C が通常使用されているユニキャスト (1 対 1) の通信用の IP アドレスであり、クラス D がマルチキャスト用 (1 対多)、クラス E が実験用に予約された IP アドレスである。クラス A はネットワーク部が短く (8 ビット)、ホスト部が長い (24 ビット)。すなわち、多くの機器を保有する大組織や多くの顧客を有する大規模なインターネットサービスプロバイダ (ISP) に割り当てするのに適している。クラス C はその逆

である。クラス A が約 1,677 万台、クラス B が 65,534 台、クラス C が 254 台のホストを接続できる。

しかし、クラスを用いた IP アドレス割り当てには問題が生じた。ほとんどのネットワークではクラス A では大きすぎ、クラス C では小さすぎたため割り当ての要求がクラス B に集中した。クラス B の割り当てを受けたネットワークの中には 65,534 台のホスト（インターネットサービスプロバイダであれば接続ユーザー数）をフルに接続する事がまれであるネットワークも存在し、IP アドレスが無駄に消費される事になった。そこで現在ではアドレスクラスを使わず、ネットワーク部とホスト部の境界を 8 ビット単位に固定せずに細分化する可変長サブネットマスクや CIDR (Classless Inter-Domain Routing) が一般化している。

1-2-1-2. CIDR(Class-less Inter Domain Routing)

CIDR とは、IPv4 アドレスのクラス概念を無くし、IP アドレスを有効に活用するための技術である。CIDR の導入以降、すでにクラス A、B、C といったユニキャスト・アドレスの概念はなくなっており、全てのネットワークは「/n」⁷で表記される。

1-2-2. IPv6 の IP アドレス

IPv6 の場合、アドレス長が 128 ビットなので、使用できるアドレスの数は 2^{128} 個、約 340 澗（かん）個⁸ものアドレス空間を誇る。また、IPv6 で使われる IP アドレスは用途によって、ユニキャスト・アドレス、エニキャスト・アドレス、マルチキャスト・アドレスの 3 つに分類される。

1-2-2-1. ユニキャストアドレス

ユニキャスト・アドレスは、1 対 1 の通信をするために、ホストのインターフェイスに設定される IP アドレスである。一般に IP アドレスと言えばこのユニキャスト・アドレスを指す。ユニキャスト・アドレスで示された IP アドレスは、ただ 1 つの宛先を示す。ユニキャスト・アドレスには次のようなものがある。

①未指定アドレス

すべてが「0」のアドレス（「0:0:0:0:0:0:0:0」、省略表記すると「::」）は、設定されていないという特別な意味で使われ、ホストに割り当てられる事はない。

②ループバック・アドレス

「0:0:0:0:0:0:0:1」（省略表記すると「::1」）は、自分自身を示す特別な IP アドレスとして使われる。

③「IPv4 アドレス埋め込み型」の IP アドレス

IPv6 を使って IPv4 の IP アドレスを表現するときに使われる。

④グローバル・ユニキャストアドレス

インターネットで使われる IP アドレスである。IANA が集中管理し、各地域やプロバイダに割り当てている。IPv6 対応のプロバイダに接続したときに割り当てられる IP アドレスは、このグローバル・ユニキャストアドレスである。

⑤ドキュメントのための IP アドレス

文書で説明するときを使うための、実在しない例として使う際の IP アドレスである。

⑥サイトローカル・ユニキャストアドレス

IPv4 におけるプライベートアドレスのように、社内や家庭内などで自由に使う事を想定した IP アドレスだった。現在は廃止され、ユニーク・ローカル・ユニキャストアドレスに置き換えられた。

⑦ユニーク・ローカル・ユニキャストアドレス

IPv4 におけるプライベート IP アドレスのように、社内や家庭内などで自由に使える IP アドレスである。サイトローカル・ユニキャストアドレスを置き換えたものである。

⑧リンクローカル・ユニキャストアドレス

同一のネットワーク内で、他のホストと重複しないように自動設定される IP アドレスである。つまり、ルータを超えない範囲だけで通信できる「ユニキャスト・アドレス」という事である。インターフェイスの初期化に使われる。

1-2-2-2. エニキャスト・アドレス

エニキャスト・アドレスは、複数の異なるインターフェイスに同じ IP アドレスを設定しておき、宛先として指定したときに「ネットワーク的に近いどれか」に到達するように構成するものをいう。

エニキャスト・アドレスには、①「ユニキャスト・アドレスを流用するもの」、②「予約された特別な IP アドレスを使うもの」の 2 種類がある。①はルータなどの転送先を決定するネットワーク機器の設定によって決まるため、「ある値の IP アドレスがいつもエニキャスト・アドレスである」とは言えない。エニキャスト・アドレスなのかユニキャスト・アドレスなのかは、設定によって異なってくる。

1-2-2-3. マルチキャスト・アドレス

マルチキャスト・アドレスは、1 つのアドレスで複数の宛先に届ける事を目的としたものである。マルチキャスト・アドレス宛てにデータを送信すると、対応するすべてのインターフェイスに届くようになる。

1-2-3. モバイル IP

かつては、コンピュータは大型の 1 台を皆で共有して使用するのが基本だったが、ネットワークが出てくると、ネットワーク経由でリモートからコンピュータを使うという概念

が出てくる。そしてラップトップ・コンピュータが出てくると 1 人 1 台持ち歩いて使用できるようになり、移動して使用できるコンピュータが登場した。こうしたコンピュータのハードウェアの進歩とネットワークの進歩によって、人間とコンピュータの関係は大きく変わってきた。

このようにして、かつては想像できなかった「コンピュータを移動しながら使う」という現象が起こるようになった。しかし、既存の IP アドレスは、「ネットワーク部」と「ホスト部」から構成されている為、移動環境だと「ネットワーク部」が絶えず変化し、IP アドレスが変わってしまう。故に通信を維持する事が難しくなる。

そこで、IETF におけるモバイル IP の標準化では、IP アドレスの「ホスト部」と「ネットワーク部」を分離して、それぞれに別の IP アドレスを利用する事になった。ホスト部にあたるアドレスを「ホーム・アドレス」といい、移動に関係なく、端末に割り当てられる固定のアドレスである。ネットワーク部にあたるアドレスは、「ケア・オブ・アドレス」といい、移動端末の訪問先のネットワークの位置を示すアドレスである。このようにして、端末が移動して、異なるネットワークに接続されても、ホーム・アドレスは変わらないため、通信を維持する事が出来る。⁹

¹ ウィキペディア (http://ja.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol)

² ITPro(<http://itpro.nikkeibp.co.jp/index.html>)

³ 江崎浩『IPv6 教科書』28 頁

⁴ 現在では DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) により、ルータ等から自動的に IP アドレスを割り振られるようになった。

⁵ IPSec は IPv4 にも用意されているが、その機能はオプション扱いであるためほとんど使用されず、一般的にはデータを送る側と受け取る側で、それぞれ別のセキュリティ機能 (ファイヤーウォールや SSL) を準備しなくてはならない。

⁶ e-Words(<http://e-words.jp/>)

⁷ 例えば「/8」の場合、ネットワーク部が 8 ビット、ホスト部が 16 ビット、という意味であるから、1 つのネットワークに約 1,677 万のホストを収容可能、という事になる。

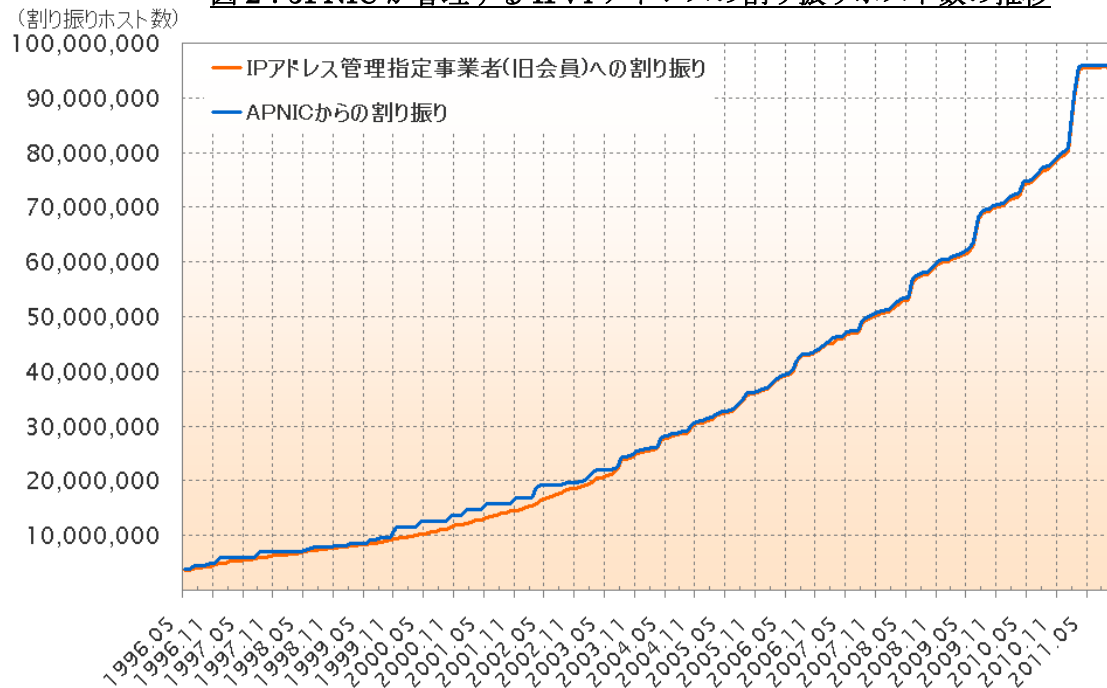
⁸ IPv4 で使用できるアドレス空間 (約 43 億) の 4 乗 (43 億×43 億×43 億×43 億) である。

⁹ <http://wbb.forum.impressrd.jp/feature/20090528/727> より

2. IP アドレスの枯渇

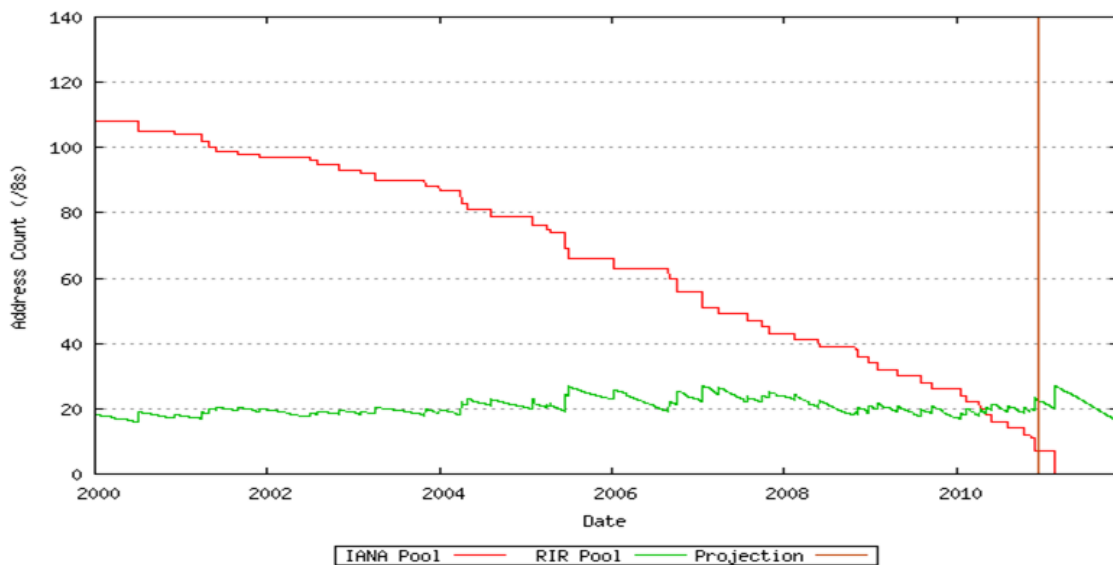
2-1. 現状

図 2 : JPNIC が管理する IPv4 アドレスの割り振りホスト数の推移



(株)日本ネットワークインフォメーションセンターより引用

図 3 : IPv4 グローバルアドレスの在庫状況



(株)日本ネットワークインフォメーションセンターより引用

インターネットの爆発的な普及により、NIC から割り当てられる IP アドレスの数も増大した(図 2)。インターネットの IP アドレスやドメイン名などの各種資源を全世界的に調整・管理する IANA の在庫が 2011 年 2 月 3 日に無くなった。更に、日本が属する APNIC

(Asia-Pacific Network Information Centre)の在庫が同年 4 月 15 日に無くなった(図 3)。尚、日本のインターネットレジストリである JPNIC は固有の在庫を持たないため、APNIC と在庫を共有している。つまり、APNIC の在庫が無くなった事は、JPNIC の在庫が無くなった事と同義である。

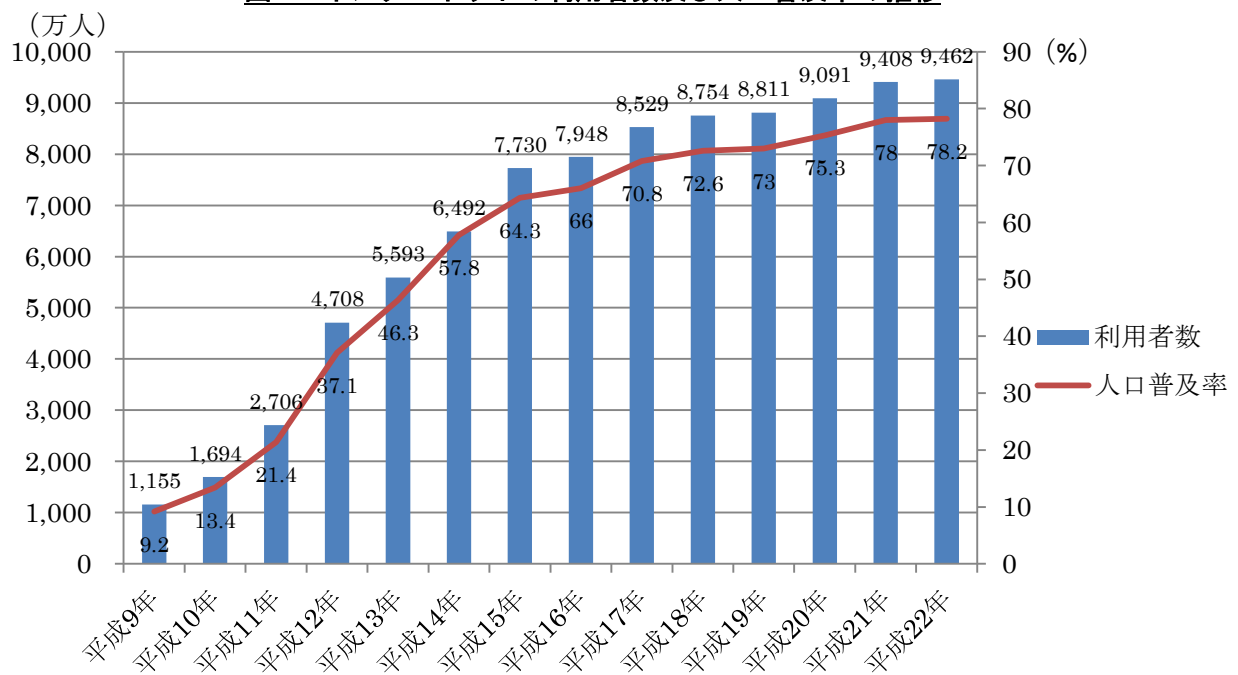
2-2. 背景

2-2-1. インターネットの爆発的な普及と利用端末数の増加

総務省の平成 22 年通信利用動向調査によると、日本におけるインターネット利用者数は 9,462 万人となり、人口普及率は 78.2%に達した(平成 22 年末)(図 4)。また、ブロードバンド回線契約数は 3,459 万契約となった。ブロードバンド利用者の普及に伴い、IP アドレスの割振り実績も増加している。これより、ブロードバンドの普及と IP アドレスの消費には相関関係がある事が認められる(図 5)。

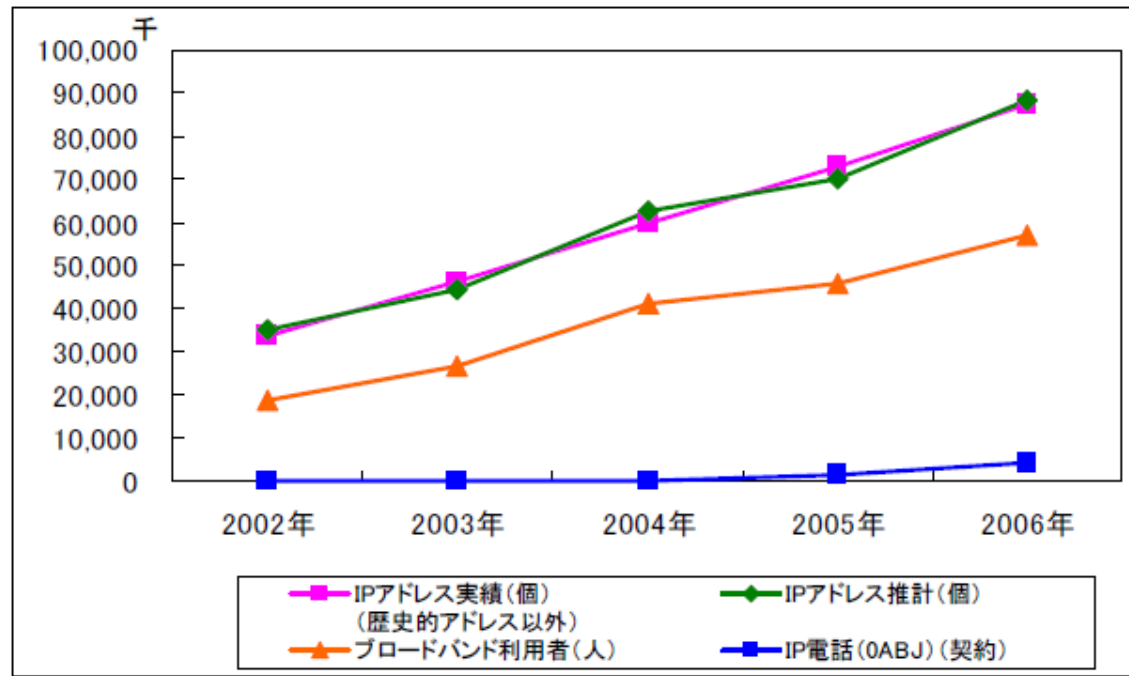
また、インターネット利用端末についてはパソコン、モバイル端末を併用して利用する人口が 6,495 万人(68.6%)となり、パソコンからのみ利用する人口(1,509 万人、15.9%)や、モバイル端末からのみ利用する人口(744 万人、7.9%)を大きく凌いでいる。このことから、多くのユーザーが様々な端末を駆使してインターネットを利用している事がわかる。

図 4：インターネットの利用者数及び人口普及率の推移



総務省「平成 22 年通信利用動向調査」より著者作成

図 5：I P アドレス消費とブロードバンドの普及等の相関性



(株)日本ネットワークインフォメーションセンターより引用

図 6：インターネットの利用端末の種類

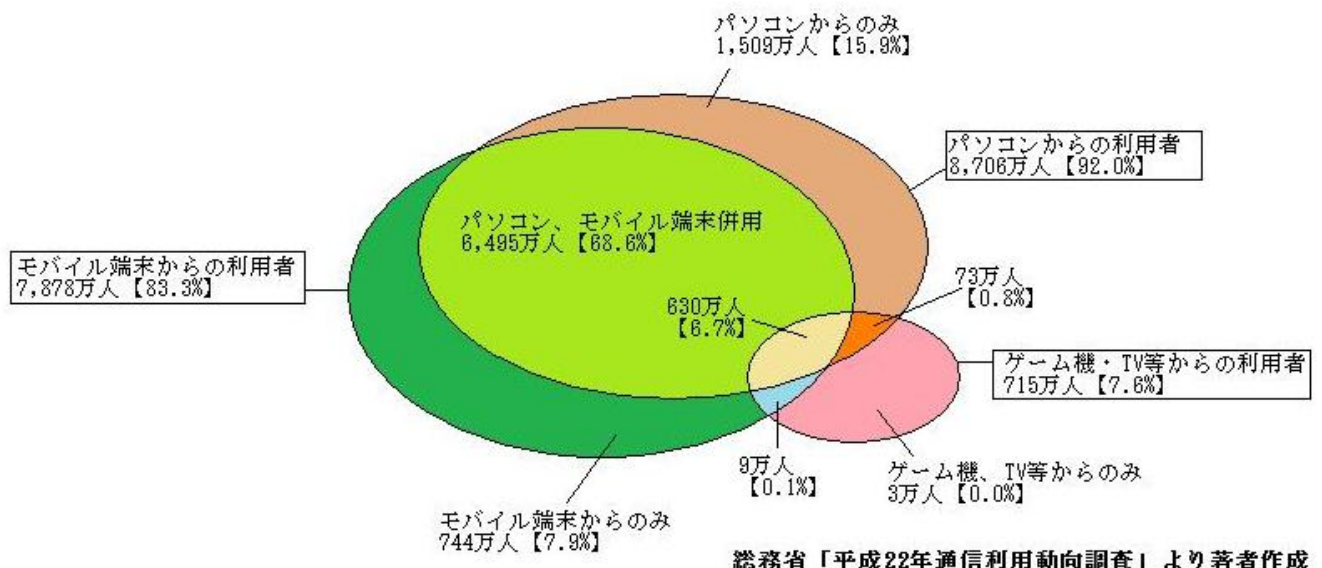
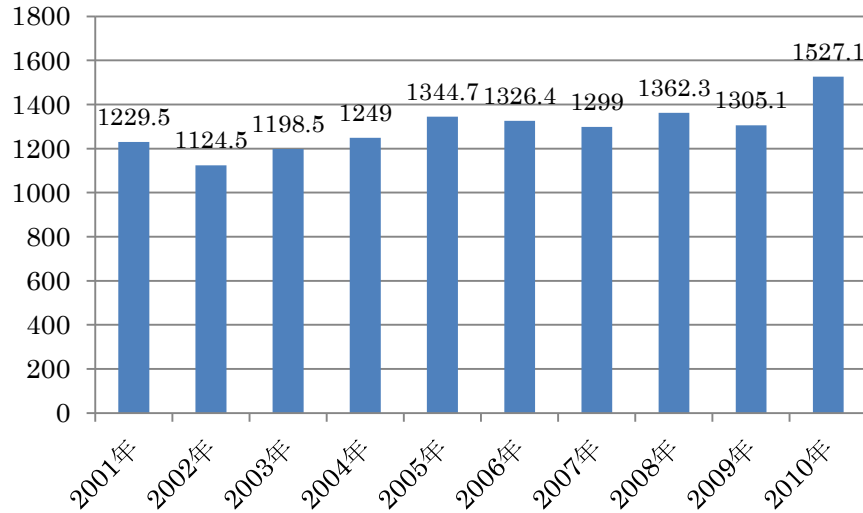


図 6 を見る限り、インターネットに接続している端末はやはりパソコンが最も多い。日本におけるパソコンの出荷実績を見ると、毎年 1,000 万台以上のパソコンが出荷されてお

り、2010 年には約 1,530 万台となっている（図 7）。また、近年では、タブレット端末やスマートフォンなど、無線 LAN 通信によってインターネットへ接続する事が可能な端末が登場してきた。そのような無線 LAN 対応モバイル情報端末の出荷台数を図 8 に示す。

図 7：国内におけるパソコンの出荷実績

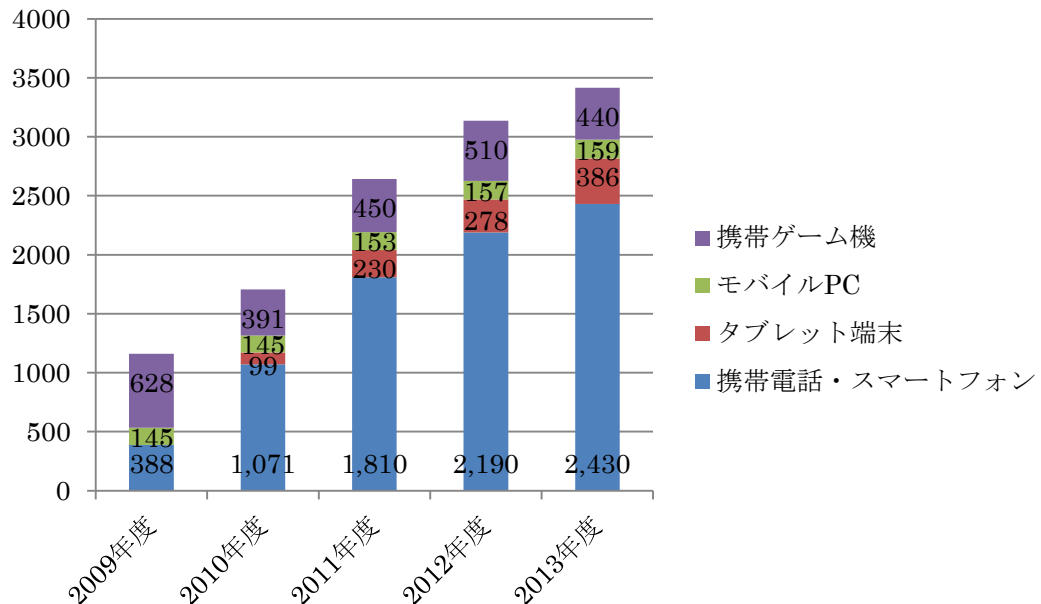
(万台)



<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/Research/20110203/356880/>より著者作成

図 8：無線 LAN 対応モバイル情報端末出荷台数

(万台)



ICT 総研『公衆無線 LAN サービス (Wi-Fi サービス) 市場に関する調査結果』より著者作成

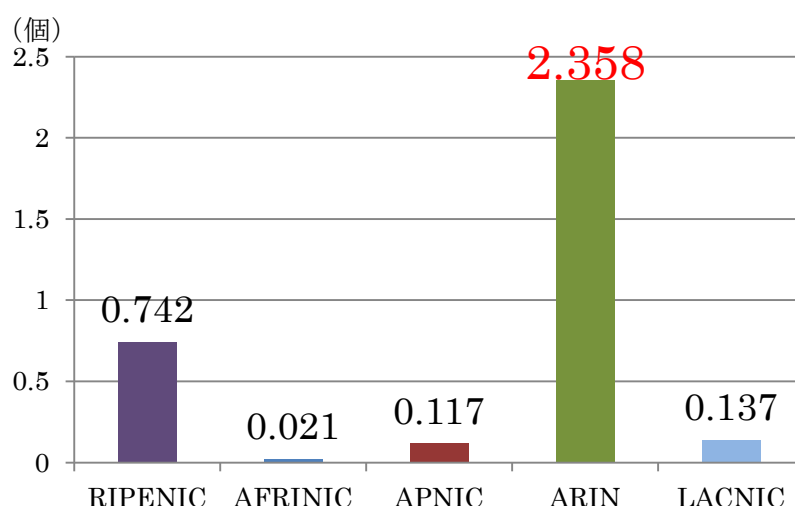
スマートフォンは、携帯キャリアの電波のほかに Wi-Fi による通信が可能であり、インターネットに接続しやすくなったのが大きな特徴である。また Wi-Fi ルータを導入すれば

1 つのルータでパソコンやスマートフォン、タブレット端末など、複数の端末を接続する事もできる。このように様々な方法でインターネットに接続する端末が増加し、結果として 1 人のユーザーで複数の端末を持つようになった。故に、今後ますます IP アドレスが消費されていくと考えられる。

2-2-2. 南北問題と米国の一国独占体制

南北問題とは、先進国と発展途上国との経済格差、及びその是正をめぐる問題の事を指す。この事から、先進国の集まる地域と発展途上国の地域では、IP アドレスの割振り数に偏りが生じてきている。

図 9：地域別の人口一人当たりの IPv4 アドレス割当数



http://www.venture.nict.go.jp/node_2672/node_2755/IPv6/node_22475 より著者作成

表 1：割り当て済み IPv4 アドレス分配状況

順位	国・地域	割当数	順位	国・地域	割当数
1	アメリカ	1,462,783,744	210	ミクロネシア	2,048
2	中国	184,042,240		フランス領ギアナ	2,048
3	日本	151,578,112		赤道ギニア	2,048
4	EU	120,141,152		マーシャル諸島	2,048
5	イギリス	86,539,864		ワリス・フテyna 諸島	2,048
6	ドイツ	82,821,560		ノーフォーク島	2,048
7	カナダ	74,765,056	216	モントセラト	1,280
8	フランス	68,086,720	217	ギニアビサウ	1,024
9	韓国	67,101,184		ニウエ	1,024
10	オーストラリア	36,253,440		米領バージン諸島	1,024
			220	グレナダ	256

	セントルシア	256
--	--------	-----

<http://www.nic.ad.jp/ja/research/201002-dom/chapter4-2.pdf> より著者作成

北米地域を管轄する ARIN は、我が国を含むアジア太平洋地域を管轄する APNIC に比べて一人当たり約 20 倍、アフリカ地域を管轄する AfriNIC に比べて約 110 倍ものアドレスの割当を受けている（図 9）。表 1 では、国・地域ごとに上位と下位をそれぞれ 10 ずつ表しているが、上位 10 の国・地域では先進国が名を連ねているが、下位は発展途上国が占めている。

発展途上国では、経済的な問題から、我々が普段使用しているような有料の Office ソフトを搭載した Windows コンピュータは購入する事ができない。そこで、世界中の子どもに向けて、1 人にコンピュータ 1 台の普及を目指す「One Laptop Per Child」プロジェクトがある。このプロジェクトは、ノートパソコン「XO-1」を 1 台 100 ドルという低価格で、貧しい国の子ども達に与えようというものである。

図 10: XO-1



このノートパソコンはハードディスクの代わりにフラッシュメモリを使い、レッドハットの Fedora から派生した Linux をプリインストールしており、このオペレーティングシステムはフラッシュメモリ上と同時にマザーボード上の ROM にもバックアップが格納されている。802.11s Wi-Fi メッシュネットワークプロトコルによるモバイルアドホックネットワークが可能で、多数のマシンが 1 つのインターネットアクセスを共有できる。2007 年現在、ウルグアイ、ペルー、モンゴルから受注があった事を明らかにしている。受注したウルグアイ教育研究所との間で 10 万台の購入契約を結んだという。このように、発展途上国でも今後、インターネットに接続される端末が増加する事が見込まれる。故に、IP アドレスの安定的な確保が要求されてくるだろう。

http://en.wikipedia.org/wiki/OLPC_XO-1 より引用

表 1 によると、アメリカが圧倒的に多くのアドレスを割り当てられている。そもそもインターネットはアメリカの国防総省が構築した ARPANET が起源であり、インターネットの資源は長らく米国政府の影響下にあった。99 年に ICANN¹に業務が移管されるまで、インターネット資源のグローバルな管理を行っていた IANA(Internet Assigned Numbers Authority)は、その運営費用の一部をアメリカ政府の研究予算に依存していた。インターネットの国際化に伴い、これらの資源の管理から米国政府が手を引き、民間の非営利団体に一任するものとして設立されたのが ICANN である。しかしながら、ICANN は民間非営利団体ではあるが、米国のカリフォルニア州法に基づく民間の団体に過ぎない。また、その権限は米国商務省から与えられたものであり、商務省が ICANN への移管がうまくいかないと判断すればその権限を取り戻せる契約になっていた。

米国政府は民間主導の資源管理を認めているが、一方でインターネットが米国政府の投

資の下で成立したという主張は崩しておらず、インターネットの元々の管理権限は米国政府が有しており、それを民間組織である ICANN に委譲するというスタンスをとっている。²

ICANN はドメインネームシステム (DNS) の根幹をなすルート DNS サーバーを管理している。全てのドメイン名を運用する根幹であるルート DNS サーバーが、米国政府の影響下にある事について欧州やロシア、中国などから反発の声が高まり「インターネットガバナンス」と呼ばれる国際問題にもなっている。こうしたことから、ICANN のような役割を担う機関は国連の下に置くべきとの議論もあるが、現在のインターネットの性格や役割から国家から離れて民間主導であるべきとの意見もある。³

2-2-3. アドレスブロックの死蔵

IPv4 グローバルアドレスは多くの場合アドレスブロック単位で割り当てられるため、実際には使用されていないアドレスが多数存在している。

また、インターネットの黎明期には、プロバイダなどを介さずに、国際的な IP アドレス割り当て機関から直接割り当てられたアドレスがある。このようなアドレスを JPNIC では「歴史的経緯を持つプロバイダ非依存アドレス (歴史的 PI アドレス)」と定義している。歴史的 PI アドレスの一部には、WHOIS データベースで公開されている情報が適切に更新されておらず、割り当て先が不明確になってしまっているものや、ネットワークトラブル時に連絡がとれないものがある。また、情報が更新されていない歴史的 PI アドレスがハイジャックされたり、スパムや不正利用の踏み台とされるケースも報告されているという。JPNIC では、この歴史的 PI アドレスの管理体制を強化するとともに、今後使用しないのであれば返還を求めて必要ところに再配分するという。

2-3. 対応策

2-3-1. NAT (Network Address Translation)

ここでは、IPv6 へ移行せず、IPv4 のままでの対応策について論じる。

現在広く用いられているものとしては、NAT を用いてグローバルアドレスを複数の端末で使いまわす方法がある。割り当てられたグローバルアドレスを NAT 機能付きのルータに格納しておき、ユーザーが外部と通信する時に、端末に割り当てられたプライベートアドレスからグローバルアドレスに変換して通信を行う方法である。この方法により、1つのグローバルアドレスで複数の端末を外部のネットワークに接続する事が出来る。

現在のインターネット環境では、一般家庭には CPE (Customer Provided Equipment) と呼ぶ通信装置が設置されている。通常、CPE には HGW (ホームゲートウェイ) やブロードバンドルータが該当し、CPE から ISP へ接続されている。そして、宅内の LAN 側には IPv4 のプライベートアドレスが割り当てられ、ISP 側には IPv4 グローバルアドレスが割り当てられており、つまりは 1 世帯に 1つの IPv4 グローバルアドレスが割り当てられている状態である。

これでは IPv4 グローバルアドレスが枯渇した途端に ISP は加入者を増やす事が出来なくなってしまう。

そこで、個人宅や企業ネットワークだけで利用されてきた NAT の性能・機能をキャリア・グレードに引き上げたシステムがある。これは ISP 網に NAT を置き、ユーザーに対してグローバルアドレスの代わりにプライベートアドレスを配布する。こうする事で、複数のユーザーに 1 個のグローバルアドレスを共用させれば、新規に割り当てるグローバルアドレスの数を抑える事が出来る。このシステムをキャリア・グレード NAT (CGN) という。⁴

この方式では、インターネットと端末の間に NAT 機能を有した機器を置く事になるので、インターネットが本来掲げていたピア・ツー・ピアでの接続に対する障害になりうるという批判的な意見もある。IPSec を使う VPN や、Windows Messenger など、一部のアプリケーションや用途では、NAT が介在する事で通信できない状況に陥る事がある。

2-3-2. 未使用アドレスの回収

IP アドレスは、アドレス・ブロックという形で割り当てられるため、実際には使われていないアドレスが存在する可能性がある。そのようなアドレスをインターネットレジストリに返却してもらい、必要などところに再配分する事により、IP アドレスの利用効率を高めようというものである。

しかしながら、この方法については望みが薄いとされている。割り当てられているアドレス・ブロックを先頭から使用しているケースは少ない一方で、集約可能な単位でレジストリに返却されなければ再利用するのは難しいからである。細切れのアドレス・ブロックのままだと、細切れの経路情報がインターネット上の BGP

(Border Gateway Protocol)⁵に広報される事により、経路情報が増大してしまう。BGP の経路情報は既に 30 万ルートを超えており⁶、そこに細切れの経路情報が流入すれば、BGP に過負荷をかけてしまう恐れもある。

2008 年 2 月に IANA の担当者である Leo Vegoda 氏によると、IANA は 2007 年から 2008 年にかけて 4 つの /8 を回収している。(46. 0. 0. 0/8、49. 0. 0. 0/8、50. 0. 0. 0/8、14. 0. 0. 0/8)。しかし、IANA によればその他のアドレス・ブロックは少なくとも一部は使用されており、/8 がまとまった形でこれ以上戻ってくるのは望みが薄く、仮に一部が戻ってきたとしても、/8 を 1 個使いきるのに 1 カ月かからない状況であったため、延命にはほとんどつながらないであろうという見解が示された。⁷

¹ Internet Corporation for Assigned Names and Numbers。インターネット上で利用されるアドレス資源(IP アドレス、ドメイン名、ポート番号など)の標準化や割り当てを行う組織。IANA の後継にあたる民間の非営利法人である。現在 IANA は IP アドレスの割り当てを行う機能の呼称として用いられている。

² 「インターネット資源管理体制の現状およびそれに関する議論の動向」

³ 事バンク (<http://kotobank.jp/word/ICANN>)

- 4 「絶対わかる！IPv4 枯渇対策&IPv6 移行 超入門」29 頁
- 5 インターネットのように TCP/IP を用いて複数のネットワークを接続した環境において、各ネットワーク間で接続機器が経路情報をやり取りするためのプロトコル(通信規約)の一つ。
- 6 大元隆志『IPv4 アドレス枯渇対策と IPv6 導入』21 頁
- 7 『2008 年度インターネット資源の管理体制と活用に関する調査研究』

3. IPv6 の導入

3-1. 業種別の対策

前述した IP アドレスの枯渇問題に対し、根本的な解決策であり、最も効果が見込まれているのが、IPv6 の導入である。

しかし、即座に IPv4 の環境を抹消してしまうのは適当ではなく、企業の業種や規模によって対策は異なる。¹業種別に分けた対策を表 2 に示す。

表 2:業種別の対策

業種	対策
通信事業者 プロバイダー データセンター事業者	事業継続のために IPv4 の延命、IPv6 の導入が必須
システムインテグレータ オンラインバンキング オンラインゲーム ネットショッピング コンテンツ配信 SNS	事業拡大のために IPv4 の延命、機会損失防止のために IPv6 の導入を必要に応じて実施
上記以外のユーザー企業	拠点立ち上げ、システム刷新時に IPv4 の延命、IPv6 の導入を検討
家庭のエンドユーザー	上記の対策で IPv6 の導入が進む

「絶対わかる！IPv4 枯渇対策&IPv6 移行 超入門」158 頁

より著者作成

IPv4 グローバルアドレスの枯渇によって最も影響を受けるのは、通信事業者、プロバイダー、データセンター事業者などである。個人や企業に対して IPv4 グローバルアドレスを割り当て、インターネットへの接続サービスなどを提供する事により対価を得る。契約数が増えるごとに IPv4 グローバルアドレスが必要になるため、グローバルアドレスが枯渇する事は、事業の拡大がこれ以上できなくなる事と同義である。まさに死活問題なため、IPv4 グローバルアドレスの確保、手持ち在庫の延命、将来に向けての IPv6 への移行を同時に進めていく必要がある。

次に対策が必要なのが、事業者のサービスを使って業務システムを構築し、それをサービスとして企業に提供するシステムインテグレータや、e コマースやオンラインバンキング、コンテンツの配信など Web サービスを提供する企業である。いずれも既存サービスの設備を強化したり、新しいメニューサービスをスタートしたりする際に、必要なだけの IPv4 グローバルアドレスが確保できない可能性がある。

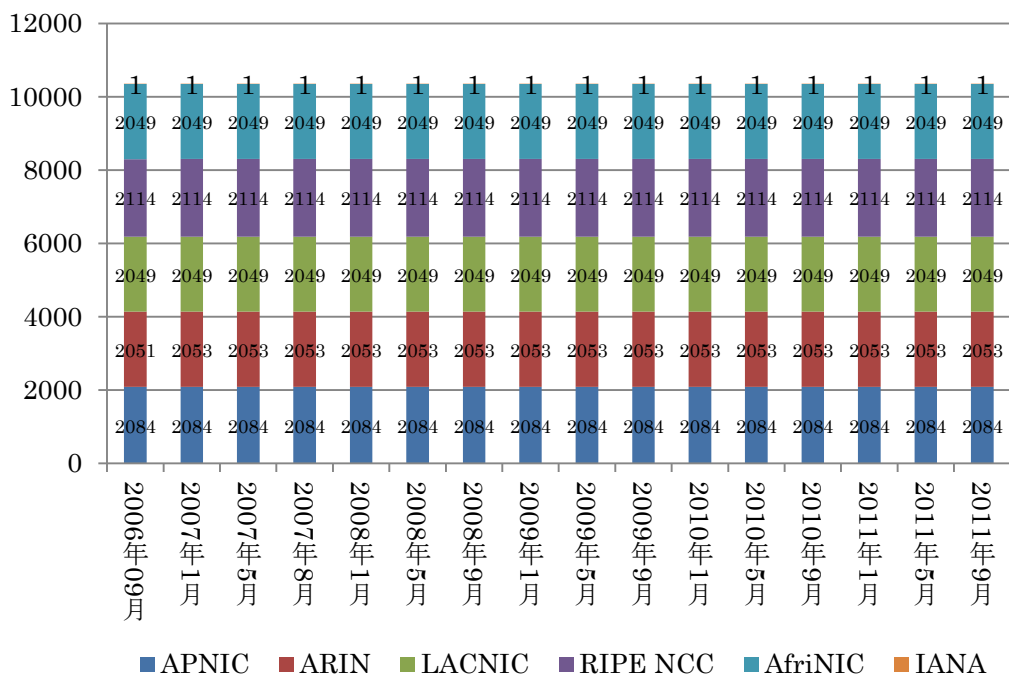
その他の一般ユーザー企業は、現状の業務内容を維持する限り、枯渇についてさほど意識しなくても問題はない。但し、新規事業を始めたり、拠点などを増設する場合には新しくアドレスが必要になる。

上記のような流れを受けて、一般ユーザーは何もしなくても IPv6 の導入が進むと思われる。

3-2. 南北問題は解消されるのか

図 11：地域インターネットレジストリ (RIR) ごとの IPv6 アドレス配分状況

(/23 のブロック数)



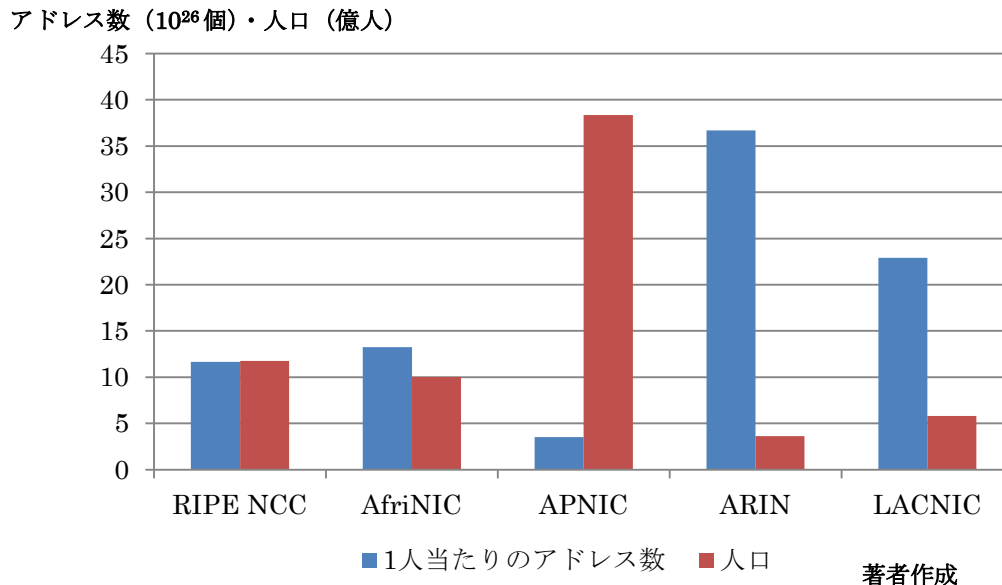
『地域インターネットレジストリ (RIR) ごとの IPv6 アドレス配分状況』より著者作成

実際に割り振られている IPv6 アドレスの推移を図 11 に示す。IANA の在庫が無くなったのは 2011 年 2 月 3 日であり、APNIC、JPNIC の在庫が同年 4 月 15 日であるが、枯渇する以前から各 RIR に IPv6 が割り振られており、インターネットレジストリとして IPv6 導入の準備は整っているのではないかと考えられる。また、RIR ごとによる IP アドレスの偏りはほぼ見受けられない。

2011 年 9 月までに割り振られた RIR 別人口一人あたり²の IPv6 アドレス数 (図 12) を見てみると、IPv4 と同様、依然として ARIN が多く、また APNIC は最も少ない事が分かる。これは、RIR ごとにはほぼ同量のアドレス・ブロックが割り振られているが、RIR ごとにカバーしている地域の総人口に差がある事が原因と考えられる。ARIN は約 3 億 6000 万人に対し、

APNIC は約 38 億人、RIPE NCC や AfriNIC は約 10 億～11 億人の地域をカバーする。日本が属する APNIC は、世界的にも人口の多い中国やインドを擁するため、他の RIR に比べると一人あたりのアドレス数が顕著に少ない事が分かる。IP アドレスの割り振りに関する格差は無くなっていないのが現状といえる。

図 12：地域別の人口一人当たりの IPv6 アドレス数



3-3. IPv4 との共存技術

IPv6 は、IPv4 の特徴を引き継いで設計されたプロトコルであるが、最適化を優先して設計されたために IPv4 との上位互換性を持っておらず、直接通信する事はできない。また、ネットワークの IPv6 化は、ネットワーク機器や各種アプリケーションを徐々に IPv6 に対応させて実施する必要があるため、現在の IPv4 のネットワークを一気に置き換える事は容易ではない。そこで、IPv4 と IPv6 を共存させる技術が必要となる。ここでは、3つの技術について触れていく。

3-3-1. デュアル・スタック

デュアル・スタックとは、複数のプロトコル構成に対応する事を意味しており、この場合では IPv4 と IPv6 の双方のプロトコルをサポートする事を意味する。IPv6 への移行初期の段階では、ネットワーク機器のデュアル・スタック化が推奨されており、現在の IPv6 対応機器のほとんどが、IPv4 の実装を併せもつデュアル・スタックとなっている。

3-3-2. トンネリング

トンネリングとは、通信に用いるプロトコルとは別のアーキテクチャによるネットワークを利用して通信する手法の事をいう。トンネル部分に利用するアーキテクチャのフレー

ムやパケットと同じように見せかけるために、その通したいデータ（パケット）をカプセル化する事によって実現する。例えば、IPv4 環境のネットワークに IPv6 のパケットを流したい場合、そのネットワークに入る前に IPv6 パケットに IPv4 のヘッダを付与する（カプセル化）事で、IPv4 のパケットとしてネットワークを流れる事が出来る。そしてネットワークを出た時にヘッダを除去（カプセル解除）する事で、元の IPv6 パケットとして扱われる。パケットのカプセル化やカプセル解除を行う装置をトンネル装置といい、起点トンネル装置から終点トンネル装置までの区間をトンネルという。

3-3-3. トランスレータ

トランスレータとは、異なるプロトコルや言語の境界上において相互にコミュニケーションを確立させるための変換装置を意味している。この場合、IPv4 と IPv6 の通信を仲介する仕組みや機器を指す。IPv4 と IPv6 の相互接続を実現する IPv4/IPv6 トランスレータでは、IPv4 と IPv6 双方との通信を行うため、デュアル・スタックで構成される必要がある。OSI 参照モデルのネットワーク層で変換を行う NAT-PT、トランスポートで変換を行う TRT、アプリケーション層で変換を行う ALG の 3 方式がある。

NAT-PT は、IP パケットのヘッダを書き換える事で IPv4 と IPv6 を変換する。IP ヘッダしか変更しないため、トランスレータにかかる負担が比較的少なく、変換できるプロトコルが多いのが特徴である。

TRT と NAT-PT が異なる点は、TCP/UDP のコネクションをトランスレータで終端する事である。例えば IPv6 のパソコンからトランスレータを介して IPv4 のサーバへアクセスする場合、IPv6 のパソコンからのコネクションはトランスレータが一度終端する。トランスポート層の通信を処理するため、トランスレータとあて先のマシンの間で、TCP のふくそう制御や再送制御を実行できる。TRT や NAT-PT は、パケットのペイロード（データ部分）は操作できないため、ペイロードに IP アドレスを埋め込んで利用するアプリケーションの通信は変換できない。

ALG はアプリケーション層で変換を実行し、ペイロードの書き換えを行う事が出来る。ALG ではトランスレータで通信を一度終端し、パケットのペイロードを見て IPv4/IPv6 変換を行う。ALG ではプロトコルごとに機器側の対応が必要となる。³

¹ 「絶対わかる！IPv4 枯渇対策&IPv6 移行 超入門」158 頁

² 該当する国と地域の人口については、国の人口順リスト

(<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9B%BD%E3%81%AE%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E9%A0%86%E3%83%AA%E3%82%B9%E3%83%88>) を参照。一部他年度のデータを使用した個所がある

³ 「絶対わかる！IPv4 枯渇対策&IPv6 移行 超入門」169 頁

4. ISP の動き

4-1. IPv6 インターネット接続サービス

4-1-1. 企業向け

IPv4 が在庫枯渇したため、将来的な IPv6 移行に備え、IPv6 インターネット接続サービスを提供するプロバイダーは着実に増えている。

企業向けの IPv6 インターネット接続サービスは、接続形態によって大きく 3 つに分けられる。1 つの回線に IPv4 と IPv6 のパケットを一緒に流すデュアル・スタック型、IPv4 と IPv6 をそれぞれ独立した回線でつなぐパラレル型、IPv4 ネットワーク上にカプセル化した IPv6 パケットを流すトンネル型が挙げられる。これらはそれぞれにメリット・デメリットがある。

デュアル・スタック型のメリットは、ルータなどの機器が IPv6 に対応していれば、既存の IPv4 環境に IPv6 の経路情報などの設定を追加すれば済み、既存のネットワークをそのまま活かす事ができる。デメリットは、IPv4 と IPv6 のパケットを 1 つの回線に流す特性上、どちらかのプロトコルで障害が起こった場合、他方にも悪影響を及ぼす可能性がある事である。

パラレル型は IPv4 と IPv6 のネットワークがそれぞれ独立しているので、片方にネットワーク障害が起こっても他方には影響しないというメリットがある。ただし、回線を 2 系統用意する事になるため、その分コストが増加する。

トンネル型はデュアル・スタック型と同様、既存の IPv4 ネットワークをそのまま使う事が出来る。しかし、カプセル化の処理を実行する際のオーバーヘッドや、カプセル化によるパケットの MTU サイズの減少によってネットワークのパフォーマンスが低下する可能性がある。また、一般にトンネル接続を終端するルータをユーザー企業側で用意する必要がある。

4-1-2. 個人向け

IIJ、ソフトバンク BB などがトンネルを使った IPv6 インターネット接続サービスを無償で提供している。¹

2011 年 4 月、KDDI が自社のアクセス網「au ひかり」を IPv6 に対応させる事を明らかにした。これに合わせて、NEC ビッグロブ、朝日ネット、ソネットエンタテインメント、ニフティなどが au ひかりをアクセス網に使うデュアルスタック型の個人向けサービスの IPv6 対応を発表した。いずれも追加料金なしで自宅の CPE のファームウェアをアップデートするという形である。²

4-1-3. NTT ドコモ「Xi」の IPv6 インターネット接続サービス

NTT ドコモが提供するインターネット接続サービス「Xi」³は、データ専用端末に IPv4 グローバルアドレスを割り振って通信を行っているが、2011 年 6 月 1 日より、IPv6 グローバ

ルユニキャストアドレスの割り振りによる IPv6 インターネット接続サービスを開始した。ネットワークはデュアル・スタックなので、従来の IPv4 のままの通信も可能である。

IPv6 接続サービスを受けるに当たり、Xi を契約している事、Xi 対応端末である事、moperaU (U スタンダードプラン) を契約している事、等の条件がある。また、公衆無線 LAN や固定網経由のアクセスや、海外における使用の場合は利用できない。

NTT ドコモのスマートフォン向けのインターネット接続サービスである「sp モード」は既存の仕組みで対応可能であるが、スマートフォンの急増を踏まえて IPv6 対応を検討していくという。⁴

4-2. World IPv6 Day の参加

World IPv6 Day は 2011 年 6 月 8 日に行われた、Internet Society (ISOC) が参加を呼びかけた世界規模のトライアルである。IPv6 によるサービス提供に問題がない事を確かめ、問題があった場合にはそれを共有し、今後の課題解決に役立てる事が目的である。ISOC の呼びかけに対し、Google、Facebook、Yahoo!、コンテンツデリバリーネットワークの Akamai と Limelight Network が当初参加を表明。その後、日本からは NEC ビッグロブや NTT コミュニケーションズ、ソニー、Yahoo! JAPAN などが参加を表明するなど、世界各国の 400 以上の企業・団体が参加を表明した。

World IPv6 Day では、各企業が自社のサイトやサービスを、現在の IPv4 に加えて IPv6 によるアクセスにも対応させる。たとえば、Google では 2008 年から IPv6 専用のサイト「ipv6.google.com」を提供しているが、World IPv6 Day 当日は通常サイトの「www.google.com」「www.youtube.com」なども IPv6 に対応させる。

日本のサイトでは、NEC が「BIGLOBE クラウドホスティング」を利用してウェブサイトを IPv6 に対応させ、動作検証を行う事を発表した。Yahoo! JAPAN ではトップページを IPv6 に対応させるほか、World IPv6 Day の特設サイトを開設。NTT コミュニケーションズの OCN では、2011 年 6 月 8 日にウェブサイトを IPv6 に対応させ、その後も IPv6 への対応を継続していくとしている。⁵

図 13 : 設問『サイトの IPv6 対応は』

簡単でしたか？

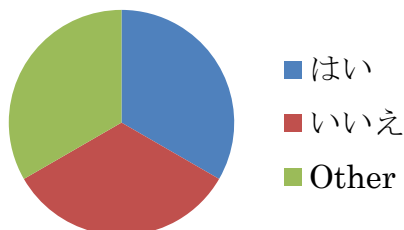


図 14 : 設問『簡単にサイトの IPv6 対応が出来たのは何故ですか？』

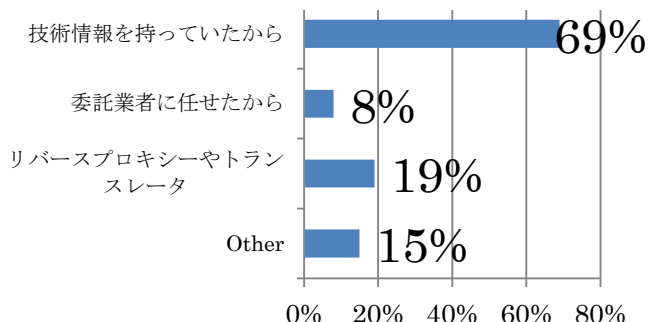


図 14,15 とともに (財)インターネット協会より著者作成

World IPv6 Day に参加した企業のアンケートを図 13・14 に示す。「サイトの IPv6 対応は簡単でしたか」という設問に対して、「はい」と答えたのは約 3 割であるが、「簡単にサイトの IPv6 対応が出来たのは何故ですか」という設問の中で、「技術情報を持っていたから」の回答が約 7 割を占めた。

¹ 「絶対わかる！IPv4 枯渇対策&IPv6 移行 超入門」164 頁

² 「絶対わかる！IPv4 枯渇対策&IPv6 移行 超入門」165 頁

³ 通信規格には 3.9G に属する技術である LTE が採用される

⁴ NTT ドコモの IPv6 アドレス対応の取り組み

(http://www.soumu.go.jp/main_content/000119408.pdf)

⁵ internet watch

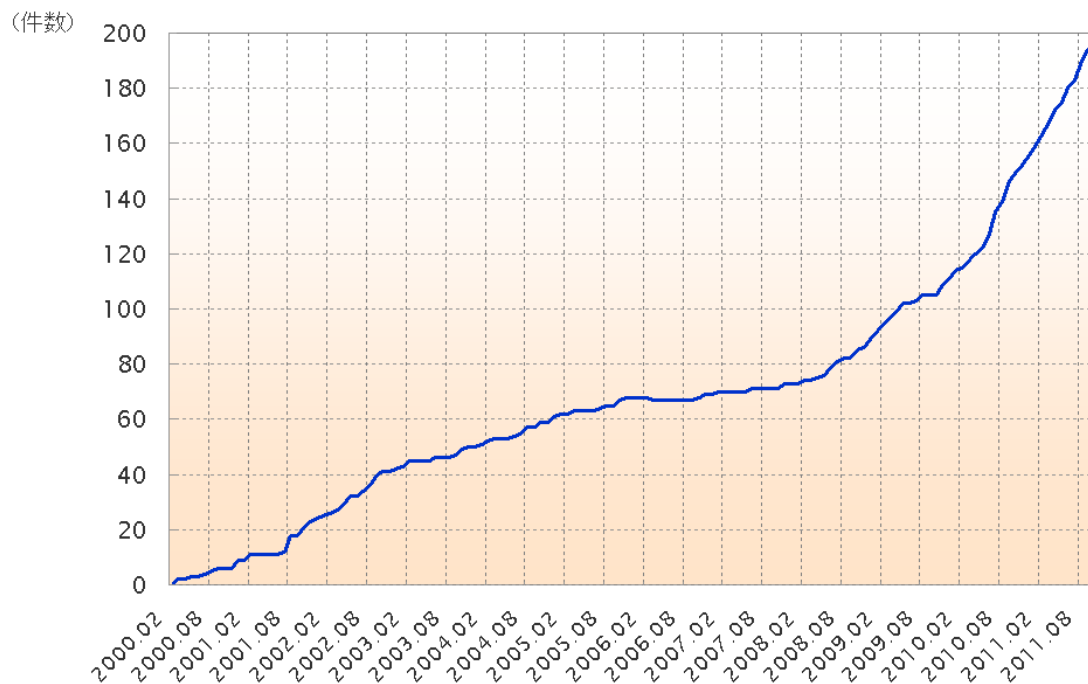
(http://internet.watch.impress.co.jp/docs/news/20110608_451323.html)

5. JPNIC の動き

5-1. IPv6 アドレスの割り当ての開始

JPNIC では 2000 年 1 月以来、IP アドレス管理指定事業者に対して APNIC への IPv6 アドレス関連の申請取り次ぎサービスを実施していた。そして 2005 年 5 月より IPv6 アドレスに関する全ての申請の受付を開始した。JPNIC が管理する IPv6 アドレス割り振り件数の推移を図 15 に示す。JPNIC と在庫を共有する APNIC の在庫が無くなったのは 2011 年 4 月 15 日であるが、その時期よりも前から IPv6 アドレスの割振りが行われている事がわかる。

図 15: JPNIC が管理する IPv6 アドレス割り振り件数の推移



<http://www.nic.ad.jp/ja/stat/ip/> より引用

5-2. アドレス移転制度

IP アドレスとは、「必要とする人が、必要な時に、必要なだけ借りて使うもの」と一般的に認識されるようになってきた。このため、レジストリから割り当てられたアドレス空間を売買したり、レジストリの許可なしに他の組織へ譲渡する事は認められていなかった。レジストリが介在せずにアドレスが譲渡されると、レジストリのデータベース (WHOIS) の信頼性が損なわれるおそれがあるからである。

IP アドレスは「インターネット通信を可能」という役割の他に、「犯罪発生時の通信発信者の特定に利用される」という重要な側面がある。例えば、企業システムへの不正アクセスやネットワークションでの詐欺行為など、インターネットを利用した不正行為が発生した場合、その通信に使われた IP アドレスは捜査の手掛かりや犯罪の証拠として扱われる事がある。一見すると匿名と思われがちなインターネットではあるが、レジストリのデータベ

ース情報から ISP を特定し IP をアドレスを辿っていけば、発信者を特定する事が可能である。情報を発信した国や機器、組織を探り出す手段になる。

しかし、アドレス枯渇が迫るにつれて、レジストリを介さない企業間等の個別交渉を認めようという声次第に大きくなってきた。そして 2011 年 8 月 1 日より、JPNIC においてアドレス移転制度が利用できるようになった。

IP アドレスを移転する場合、まずアドレス移転に合意した移転元と移転先の両者が 1 枚の「IPv4 アドレス移転申請書」に捺印して JPNIC に提出する。JPNIC は、移転元が JPNIC と契約しているか、紛争にかかわっていないか、料金を滞納していないかといった項目を審査し、問題がなければ許可を出す。そして、実際に移転元から移転先へアドレスを移転する。JPNIC はアドレス管理データベースに移転結果を反映させる。なお合意の条件については、金銭のやり取りを含めて、JPNIC は関知しない¹。

日本国内で使われている IPv4 アドレスには、日本国内を受け持つ JPNIC から割り振られたものと、アジア太平洋地域を受け持つ APNIC から割り振られたものがある。JPNIC としては、当面は JPNIC 管理下のアドレスだけを移転対象とする方針である。移転先も JPNIC と契約している組織に限定する。こうする事で、海外への IP アドレス流出を抑え、まずは国内の IPv4 アドレスの需要を満たす事を優先した。

JPNIC 管理下の IPv4 アドレスは約 1 億 3000 万個である。内訳は、インターネットレジストリの階層構造に従い上位レジストリから階層的に分配され、ISP などが一般利用者に配布可能な「PA アドレス」(Provider Aggregatable Address) が約 9600 万個、組織が直接使う「PI (Provider Independent) アドレス」が約 3700 万個になる。今回の移転制度において、実際に移転対象となるのは、PI アドレスのほとんどを占める「歴史的 PI アドレス」となると考えられている。歴史的 PI アドレスは固定長のクラス単位で割り振られており、第 1 章で述べたクラスの概念に基づいて配布されている。固定長のせいで実際に利用するアドレスよりも多めに配分されているケースが多いと推測される。²

5-3. 未使用アドレスの回収

JPNIC は 2004 年から、インターネットで使われていない歴史的 PI アドレスの回収を進めてきている。歴史的 PI アドレスは、JPNIC 発足以前にさまざまな組織に割り当てられたが、その全ての組織が現在も活動を継続しているとは限らず、すでに活動を停止していたり、企業の買収や合併などで使わないまま放置していたりする可能性がある。こうした現在使われていないアドレスを有効活用しようというものである。

JPNIC はこれまで、歴史的 PI アドレスを持つ組織に対して回収を呼びかけてきたが、依然として連絡のとれない組織も数多くある。そこで JPNIC は、2008 年 3 月から Web サイトで、インターネット上に経路として流れていない歴史的 PI アドレスを保持し、連絡のとれない組織名の公開に踏み切った。組織名は 2008 年 6 月まで公開され、この期間を過ぎても

連絡がつかない組織が保有する歴史的 PI アドレスは、2009 年 3 月に IP アドレスの利用者データベースである WHOIS から削除された。

今回 JPNIC が公開したのは、連絡がとれなかった約 90 の組織である。IP アドレスの数にすると約 30 万個分になる。ただ、この 30 万個のアドレスが全部使えたとしても、大手プロバイダ 1 社が 1～2 年で使い切ってしまうくらいの数にしかないと見られている。³

¹金銭的なアドレス譲渡が可能になると、様々な問題が生じうる。まず、売買が可能になると、IP アドレスが資産的価値を持つ事になるので、課税対象となるかもしれない。売買する意志のない企業にとって、IP アドレスが新たな課税対象となるかもしれない。また、価格規制や法的整備が不十分であると、経済犯罪に悪用されるおそれもある。例えば、グループ企業間で IP アドレス 1 つを 10 億円で売買する、といったように、資産移動、財務操作、マネーロンダリングが不動産よりも容易にできてしまうからである。このように、アドレス移転制度は、金銭収入が見込める場合には、黎明期のアドレスブロックの回収に役立てる事を含め、ある程度の効果を期待できるが、一方で事前に整備すべき制度や実施後の課題も多々ある。

²ITPro(<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20111008/370375/?ST=network&mkjb&P=2>)

³ ITPro (<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/Keyword/20080527/304206/>)

6. 政府の動き

6-1. e-Japan 戦略

平成 13 年 1 月に IT 戦略本部において策定された「e-Japan 戦略」II. 重点政策分野 1. 超高速ネットワークインフラ整備及び競争政策 (2) 目標において、「③ インターネット網やインターネット家電が普及し、それらがインターネットに常時接続される事を想定し、十分なアドレス空間を備え、プライバシーとセキュリティの保護しやすい IPv6 を備えたインターネット網への移行を推進する。」と記された。また、「e-Japan 戦略」の具体的記述として、同年 3 月に策定した「e-Japan 重点計画」では、「2005 年までにすべての国民が、場所を問わず、自分の望む情報の入手・処理・発信を安全・迅速・簡単に行える IPv6 が実装されたインターネット環境を実現する」と明記された。さらに、平成 14 年 6 月の「e-Japan 重点計画-2002」などにおいては、IPv6 を備えたインターネット網への移行が具体的目標として取り込まれている。

6-2. 実証実験

総務省では、平成 15 年度より 3 か年計画で、地方公共団体、中小企業、家庭等の利用者が容易に IPv6 を使える環境を整備するための実証実験を、モデルネットワークを構築して実施している。また、IPv6 への移行を促進するため、実証実験の成果は国内及び諸外国に広く公表している。実験内容は、以下の 14 カテゴリーに大別される。

1. 庁舎ビル・オートメーション・サービス (東京都)
2. 在宅ケア支援システム・サービス (旭川市)
3. セキュリティ・タウン・サービス (川崎市)
4. 住民向けプッシュ型情報提供サービス (大阪市近郊)
5. 区議会中継サービス (台東区)
6. 住民相談サービス (台東区)
7. ミュージック・タウン・サービス (沖縄)
8. 防災情報収集サービス (新冠町)
9. 地域デジタル・ミュージアム (富山)
10. 地域医療ネットワーク (和歌山)
11. 学校間映像配信 (広島)
12. 自然再生監視 (宮古島)
13. 遠隔メータリング (高知)
14. 環境モニタリング (鳥取)

この実験の目標は、IPv6 の導入・移行のバリアを解消し、実際に普及を進める事にあった。IPv6 移行に対するバリアは主に、「やり方が分からない」「まだ安定度、品質などに不安がある」「直近のメリットが見えにくい」といったものが挙げられる。このうち「やり方

が分からない」という問題については、利用主体ごとに移行マニュアルを整備するという対策をとる事が出来る。移行プロセスを明らかにし、セキュリティ・モデルを明確にし、あるいは移行のためのメトリックを整備する事が役立つ。「まだ安定度、品質などに不安がある」という問題については、信頼性の検証が必要である。実証実験での設計・運用によるバグ出しや、品質測定ツール等による評価を通じて、こうした不安の払拭を図る事が出来る。

6-3. IPv6 優遇税制（次世代ブロードバンド基盤整備促進税制）

IPv6 の利用を促進するため、電気通信基盤充実臨時措置法（平成三年四月二日法律第二十七号）に基づく実施計画の認定を受けた電気通信事業者に対し、IPv6 対応型ルータに対する税制優遇措置、債務保証を実施している。

6-4. 電子政府システムの IPv6 対応に向けたガイドライン

平成 18 年度に電子政府システムの IPv6 の対応化を推進させる事を目的に、各府省庁の電子政府システムが IPv6 対応化への「移行計画」を作成する際の参考となる「電子政府システムの IPv6 対応に向けたガイドライン」を策定した。このガイドラインは、平成 18 年 1 月に IT 戦略本部が発表した IT 新改革戦略において「各府省の情報通信機器の公開に合わせ、原則として 2008 年度までに IPv6 対応を図る事とする」と明示された事にしたがって、各府省において具体的に IPv6 の導入するための計画策定の手順や IPv6 対応製品の現状、またそもそも IPv6 の必要性などをまとめている。

各府省では、すでに平成 18 年 3 月に発表した IT インフラの効率化・低コスト化を目的とした「業務・システム最適化計画」において、IPv6 に対しておおむねの方針を示しているが、省庁によってはその方針の具体性に差があった。今回策定したガイドラインによって、各府省の IPv6 対応を後押しすると共に、民間企業への波及効果をねらっていると思われる¹。

¹ <http://www.ipv6style.jp/jp/news/20070405/soumu.html> より

7. 導入に向けての課題

7-1. IPv4 との共存にかかる問題

一番大きな問題として取り上げられているのは、IPv4 との互換性が無い点である。概念的には IPv4 と IPv6 はほぼ同等と言えるが、実際のパケットフォーマットは完全に異なる上、IP アドレス空間の大きさも違うため、一対一対応はできない。そのため、IPv6 端末と IPv4 端末が互いに直接通信する事はできない。そのため、IPv6 と IPv4 との通信用にいくつかの仕組み等、第 3 章で述べたような共存技術が提案されている。

また、既存のネットワーク機器等が IPv6 に対応しているとは限らず、対応した設備の導入が必要となる。運用するシステム管理者の新たな教育も必須だろう。

IPv6 の導入は、主に IPv4 の枯渇対策として行われるものであり、通信速度が向上する、といったメリットはあまり望めず、エンドユーザーへの訴求力が低い。故に接続サービスの月額料金を既存の IPv4 のものより高く設定する事は難しく、IPv6 導入にあたって行った設備投資をどのように回収するかも課題となる。

7-2. マルチプレフィックス問題

マルチプレフィックス問題とは、ISP と NTT 東西地域会社 (NTT 東西) の NGN¹サービス「フレッツ 光ネクスト」の両方がユーザーの端末に IPv6 アドレスを配布する事で、正常に通信できなくなる現象である。

IPv4 アドレスの場合、端末に割り当てられるのは ISP が配布した IPv4 アドレスだけであるため、このような現象は起こらない。

しかし IPv6 はその仕様上、1 つのインターフェイスに複数の IP アドレスを設定できる。このため、IPv6 を使う NGN と ISP のインターネット接続サービスを併用すると、端末には 2 つの IPv6 アドレスが割り当てられる。インターネット上のサーバに NGN から割り当てられた IP アドレスを使って端末からパケットを送る場合、インターネットと NGN は直接はつながっていないため、応答が返ってこなくなってしまう。

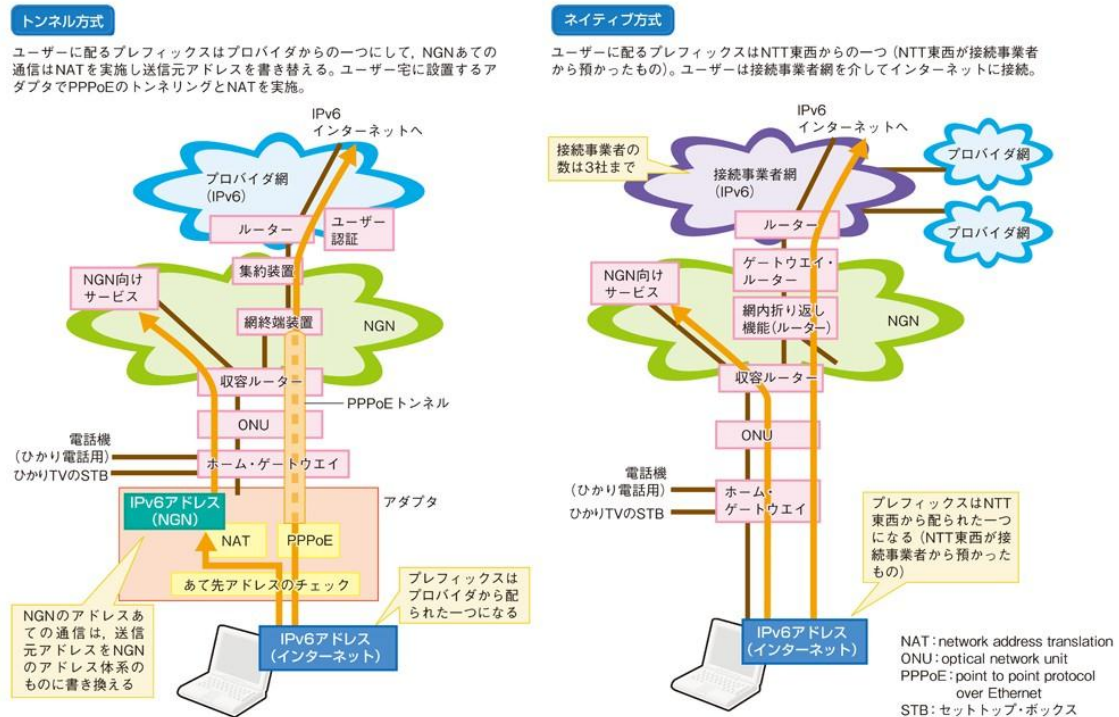
NTT 東日本と NTT 西日本はプロバイダの業界団体である日本インターネットプロバイダー協会 (JAIPA) と、2008 年春から IPv6 マルチプレフィックス問題の解決策を協議してきた。この協議の過程では「案 1, 案 2, 案 3」の 3 案が浮上し、さらに協議とは別に「案 4」が NTT 側に提出された。これらの中から、案 2 (トンネル方式) と案 4 (ネイティブ方式) が採用される事になった。(図 16)

案 2 のトンネル方式では、ユーザーに配るプレフィックス²はプロバイダからの 1 つにして、NGN 宛の通信は NAT を実施し送信元アドレスを書き換える。ユーザー宅に設置するアダプタで PPPoE³のトンネリングと NAT を実施する。

案 4 のネイティブ方式では、ユーザーに配るプレフィックスは、NTT 東西からの 1 つ (NTT が接続事業者から預かったもの) であり、ユーザーは接続事業者網を介してインターネットに接続する。

案 2 は 2011 年 6 月 1 日、案 4 は同年 7 月 26 日にそれぞれサービスがスタートした。

図 16：トンネル方式とネイティブ方式の概要



ITPro (<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/Keyword/20090707/333289/>) より引用

7-3. セキュリティ面やプライバシーに関わる問題

IPv4 では、NAT や IP マスカレードの必要性から中継機を介して間接的にインターネットと接続した結果、「インターネット側から具体的なホストが見えない」という特徴がある。

IPv6 の場合、広大なアドレス空間を持つ事から、NAT 等によるアドレスの使い回しが必要ないため、インターネットにダイレクトに接続する事が出来る。また、IPv6 の誇る広大なアドレス空間により、身の周りのあらゆるものを IP ネットワークで結ぶ事が可能となる。こうした点から、セキュリティやプライバシー上の問題が起ころうと考えられる。もし、あらゆる物が IP ネットワーク化された場合、「ユーザーが何時に起きて、何を食べ、何時に家を出発し、どのルートを通って、何駅の何時何分発の電車の何両目に乗車した」という事も全てデジタルデータとして外部に把握されてしまう事も考えられる。また、キャッシュカードやクレジットカード等の管理等に IPv6 アドレスが使用されるサービスが展開されれば、より一層のセキュリティが求められるだろう。

様々なものがインターネットに接続されるという事は、それだけユーザーの行動が外部に知れ渡るリスクも増加する⁴という事なので、セキュリティやプライバシーの面においても配慮を要するものと思われる。

¹ Next Generation Network 現在別々に構築されているインターネットサービス用 IP ネットワークと電話サービス用の電話網を、IP 技術を用いて QoS やセキュリティを向上させた IP 通信網として統合し、現行の公衆網を代替する次世代 IP ネットワークの事。電話だけでなくテレビ放送も IP ネットワークで統一的に提供しようとする動きも進められている。

² IP アドレスの「ネットワーク部」を指す。

³ PPP (電話回線を通じてコンピュータをネットワークに接続するダイヤルアップ接続でよく使われるプロトコル) の機能を Ethernet を通して利用するためのプロトコル。PPP はもともと、電話回線や ISDN 回線など、発呼を要する通信回線を介してネットワークに接続するために開発されたが、これを LAN などの「つなぎっぱなし」の環境でも利用できるようにしたものが PPPoE である。通常の PPP と異なり、ネットワークカードの持つ固有の「MAC アドレス」によって双方のコンピュータを識別し、その間に仮想回線を展開している。

⁴ 2011 年 8 月 29 日から、有限会社マニョスクリプトが運営しているスマートフォン向けアプリケーション「カレログ」というものがある。観察対象者のスマートフォン(Android 端末)の情報を、会員に通知するというアプリケーションである。会員はパソコンのウェブサイトを使って、観察対象者の現在地情報、観察対象者のスマートフォンのバッテリー残量、アプリケーションの一覧をリアルタイムで閲覧する事ができる。初期のバージョンでは、「プラチナ会員」になると、観察対象者の通話記録を閲覧する事もできた。このアプリケーションは、サービス発表後から、インターネット上を中心に「プライバシー侵害ではないか」「マルウェアではないか」「男性差別ではないか」といった理由で激しく批判された。

8. ユビキタス社会における IPv6 ～トレインネットワーク～

最後に、来るユビキタス社会において IPv6 アドレスがどのように使われていくのか、大元隆志『IPv4 アドレス枯渇対策と IPv6 導入』に掲載されている一例を紹介する。

日本における平均の通勤時間は 1 時間 17 分である。ⁱこの時間をインターネット接続サービスによってより楽しい空間にし、顧客満足度の向上、新たな販促活動の場を創造する事がコンセプトである。

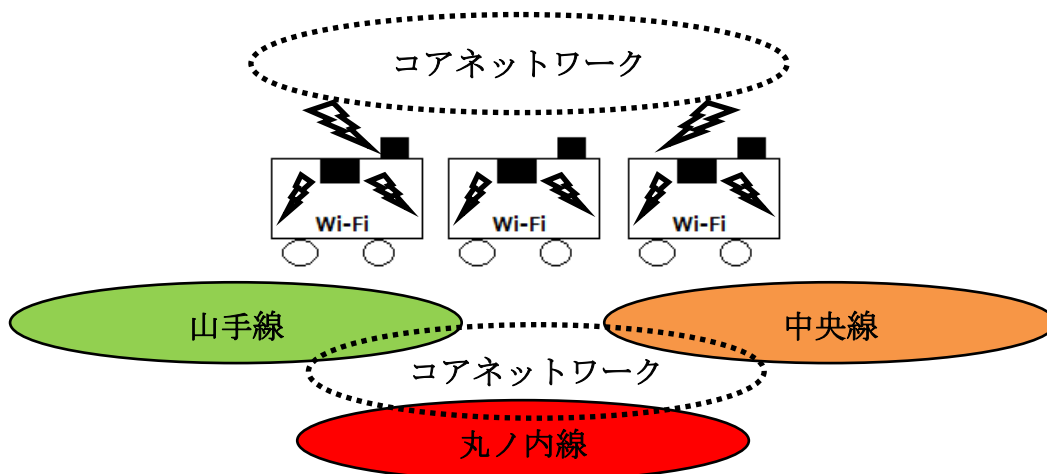
通勤者は定期券申請時にユーザーID とユニークな IPv6 アドレスを割り当てられる。電車の車両ごとに Wi-Fi-AP が設置されており、Wi-Fi 端末を車両に持ち込めばユーザーID を入力すると、電車内で IPv6 が割り当てられ、Wi-Fi が利用可能になる。Wi-Fi で受信したトラフィックは、WiMAX または LTE といった高速移動対応の無線規格を通じてコアネットワークへ転送される。

コアネットワークには複数の路線が接続されており、すべての路線が接続されており、すべての路線が 1 つのネットワークとして形成され、全路線間でノード同士が通信可能になる。

トレインネットワークですべての Wi-Fi 端末が 1 つのネットワークにつながる事で、Nintendo DS や、SONY PSP を利用して、電車の中でオンラインゲームを行う事ができる。Wi-Fi は通信距離が短い事が難点であるが、トレインネットワークで Wi-Fi のトラフィックをルーティングさせる事が可能になれば、通勤時に様々なプレーヤー同士がオンラインゲームを行う事ができる。また、Wi-Fi を通して移動中でもコンテンツを購入する事が可能となる。

IPv4 プライベートアドレスを使用した場合、クラス A でも約 1,677 万ユーザーまでしかユニーク IP を割り当てる事ができない。そのため、数千万の通勤者を 1 つのネットワークで収容するためには、IPv6 の広大なアドレス空間が必要となる。

図 17：トレインネットワークの構成



大元隆志『IPv4 アドレス枯渇対策と IPv6 導入』より著者作成

ⁱ <http://www.nhk.or.jp/bunken/summary/yoron/lifetime/pdf/110223.pdf> より

おわりに

IPv6 の導入に向けて、IPv4 の枯渇前から各方面で対策が徐々に進み、IPv6 アドレスの割り振りも徐々に進んでいる。業界では既に枯渇問題への認識が深まっており、今後も大きな混乱は起こらずに導入が進んでいくと考えられる。

しかし、導入に当たっては解決すべき問題も多い。現在は IPv6 の導入が始まったばかりであるので、当面の間は IPv4 の延命を図りつつ、IPv6 を導入していくといった共存体制が続くと考えられるが、その環境をコストを抑えつつ、どのように構築するかが大きなカギといえる。また、IP アドレスの割り当てについて、世界的に見て偏りがある事も分かった。この格差をどう解消していくかも大きな課題の 1 つである。

IPv4 は現在も広く使用されているが、グローバルアドレスが枯渇した事に加え、IPv6 を導入する事によるシンプルなネットワーク構築が可能になる点や IPsec の標準搭載等の副次的なメリットが大きいと、IPv4 のプライベートアドレスのネットワークも今後は IPv6 にシフトしていくと考えられる。IPv4 の通信環境を維持しつつ、段階的に IPv6 の普及を進めていく事により、よりスムーズな移行を実現する事が可能ではないかと考える。

IPv6 は、広大なアドレス空間が最大の武器である。そのアドバンテージを利用して、今までとは異なった新しい IP アドレスの使い方による多様なビジネスが行われてくるかもしれない。今後の動向に注目したい。

参考文献

- ・江崎浩『IPv6 教科書』インプレス R&D 2007 年
- ・江崎浩、関谷勇司ら『詳説図解 IPv6 エキスパートガイド』秀和システム 2002 年
- ・小林佳和『電話屋が書いた IP の本ープロトコルの基礎から IPv6・VoIP・ストリーミングまでー』リックテレコム 2002 年
- ・大元隆志『IPv4 アドレス枯渇対策と IPv6 導入』リックテレコム 2009 年
- ・金澤喬 (2004) . みえるわかる IPv6 「IPv6 とは何か？」 ゼロからはじめる IP 電話&IPv6
- ・Mark A. Sportack 糸川洋訳『IP アドレス基本ガイド』シスコシステムズ株式会社 2003 年
- ・Silvia Hagen 著/市原英也 監訳『IPv6 エッセンシャルズ』オライリージャパン 2003 年
- ・日経 NETWORK 「絶対わかる！ IPv4 枯渇対策&IPv6 移行 超入門」日経 BP 社 2011 年
- ・大澤 文孝『「IPv6」導入ガイド』2011 年 工学社

参考 URL

- ・(社)日本ネットワークインフォメーションセンター (<http://www.nic.ad.jp/>)
- ・総務省 (<http://www.soumu.go.jp>)
- ・総務省 I P アドレス消費とブロードバンドの普及等の相関性について
(http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/ipv6/pdf/080108_2_si3-3.pdf)
- ・総務省 IPv6 化に係わる海外の動向
(http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/ipv6/pdf/080108_2_si3-2.pdf)
- ・NTT ドコモの IPv6 アドレス対応の取り組み
(http://www.soumu.go.jp/main_content/000119408.pdf)
- ・IPv6 普及・高度化推進委員会 (<http://www.v6pc.jp/>)
- ・ウィキペディア (<http://ja.wikipedia.org/>)
- ・IT 用語辞典 e-Words (<http://e-Words.jp/>)
- ・ITPro(<http://itpro.nikkeibp.co.jp/index.html>)
- ・IPv6style(<http://www.ipv6style.jp/jp/>)
- ・家計消費状況調査年報
(<http://www.stat.go.jp/data/joukyou/2010ar/gaikyou/pdf/gk05.pdf>)
- ・バルクリサーチサービス (<http://www.vlcank.com/mr/report/041/004>)
- ・internet watch(<http://internet.watch.impress.co.jp/>)
- ・事バンク(<http://kotobank.jp/>)
- ・WBB (<http://wbb.forum.impressrd.jp/>)
- ・IPv6 簡単入門 (<http://flets-square-guide.com/sp/what/page3.html>)